



**TECNOLOGICO NACIONAL DE
MEXICO**

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez



INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

INGENIERÍA ELÉCTRICA

PRESENTA:

ALVARADO LÓPEZ MIGUEL DE JESÚS

NOMBRE DEL PROYECTO:

**PUESTA EN SERVICIO DE TPI'S DE 400 KV DE LA S.E. MANUEL
MORENO TORRES POR PROYECTO DE MODERNIZACIÓN.**

PERIODO DE REALIZACIÓN:

AGOSTO-DICIEMBRE DEL 2018

Índice

1. Introducción	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Estado del Arte.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivo	5
1.5 Metodología.....	5
2. Fundamento teórico	6
2.1 Aspectos del aislamiento (aceite).....	6
2.2 Teoría general del aislamiento.....	7
2.3 Principio de funcionamiento de un transformador de potencial inductivo (TPI).....	7
2.4 Relación de transformación.....	8
2.4.1 Polaridad del transformador	9
2.4.2 Relación práctica.....	9
2.5 Factor de potencia.....	10
2.5.1 Modos básicos de prueba	11
2.5.2 Aplicaciones y procedimientos de prueba	11
2.6 Resistencia de aislamiento	12
2.6.1 Corriente de aislamiento.....	13
2.6.2 Índices de absorción y polaridad.....	14
2.6.3 Factores que afectan la medición de resistencia de aislamiento.....	14
2.6.4 Métodos de medición de la resistencia de aislamiento.	17
2.6.5 Medición de resistencia de aislamiento a transformadores de instrumento.....	19
3. Desarrollo	20
3.1 Descripción de los circuitos realizados.....	20
3.2 Descripción de los programas realizados	24
3.3 Descripción de las pruebas, correcciones y validación	32
4. Resultados y conclusiones	33
Anexos.....	36

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Cada día se sabe más acerca de la importancia que tiene la energía eléctrica y todo aquello que lo rodea, así como las diferentes maneras de generarla. Tal es el caso de las centrales hidroeléctricas que generan energía gracias al agua y a sus grandes unidades generadoras que tienen, si bien; es importante recalcar los Mega Watt que estas tienden a generar, en términos concretos se podría decir que es la mejor idea para generar energía. (Impacto ambiental y su gran producción.)

Lo más relevante del caso es la gran demanda que a nivel mundial tiene la energía eléctrica, es una gran explosión demográfica y crece de manera exponencial, el consumo diario en el mundo es demasiado, por ello se tienen ideas y proyectos sorprendentes aunque estas tengan mayor impacto ambiental y de infraestructura. Las energías renovables están teniendo mayor tendencia, pero lo mencionado anteriormente fue el ¿Por qué la central hidroeléctrica es mejor? es muy simple; nos brinda mayor generación, almacenando agua cuando llueve y generando la mayor parte del tiempo.

Realizar la actividad de medir voltaje con un equipo eléctrico, capaz de poder transportar grandes volúmenes de energía, transmitirla y distribuirla a todo el país es de tener gran imaginación e ingenio. Como los equipos son de alto voltaje es necesario entender que para medir el valor del voltaje o corriente que circula en el lado primario se necesitan de equipos de instrumentos grandes y precisos. Desde el momento que se requiere medir voltajes a grandes escalas, se refiere a transformadores de instrumento TP'S, la función principal de estos transformadores es medir el alto voltaje y transformarlo a uno apto para los equipos de medición de bajo voltaje. El equipo de transformación permite tener niveles de tensión adecuadas como se menciona, de esta manera depende de los datos de placa, obteniendo valores exactos con la fórmula de relación de transformación.

El punto es poder explicar el fenómeno que ocurre durante la medición, cómo se transforma gran cantidad de energía a una más convencional, y sobre todo que al leer el proyecto pueda tener la satisfacción del saber cómo ponen en servicio a los transformadores de instrumento, tener la idea de la importancia de la seguridad en una subestación, ya que desde el punto en que se llega a una subestación el peligro se encuentra en cada momento.

1.2 Estado del Arte

Fábrica Megger Dallas (TX E.E.U.U) crea equipo de medición de relevadores en subestaciones denominado Sverker 900, permite realizar amplias mediciones de pruebas de una manera muy avanzada, y determinar puntos en el instrumento de manera táctil, manual o automático, pasando todos los datos a un informe almacenado. Posibilita al que aplica las pruebas verificar de manera más eficiente y rápida los datos que requiera.

Siemens lanza nueva tecnología de control y protecciones para subestaciones eléctricas con los especialistas: José Francisco Sánchez, Jesús Tello y José Malagón. Se le denomina Process Bus, que destaca la reducción del cable de cobre que se usa en una subestación eléctrica, midiendo directamente de los sensores utilizando fibra óptica Ethernet. Optimizando labores de mantenimiento y aumentando la seguridad en los equipos y dispositivos que se encuentren.

Crean en Reino Unido vehículos para prueba y diagnóstico de transformadores, estos vehículos cuentan con un sistema integrado, equipado con diversos equipos para evaluar el estado de los transformadores. La gran ventaja que hay sobre los equipos individuales o multifuncionales, es su capacidad para realizar de forma rápida y segura la obtención de análisis y resultados. Los cables se encuentran conectados en carretes y pre conectados a los instrumentos, facilitando la conexión y desconexión de los cables al transformador.

Crean en la fábrica Radeburg Alemania, equipo capaz de realizar verificaciones eléctricas generales tales como: Prueba de polarización, resistencia de aislamiento, descarga dieléctrica y régimen de absorción dieléctrica. Ofreciendo pruebas de 5 KV y 10 KV, la prueba de 10 KV de aislamiento, realiza una descarga rápida e intuitiva del almacenamiento en tiempo real, de tal manera poder medir hasta 10 TΩ o 20 TΩ.

Sídney Evershed crea el primer equipo para mediciones de aislamiento en el año 1895, conocido como “Medidor de Megaohmios” El Megaohm Meter deviene de la empresa llamada Megger líder de equipos portátiles para subestaciones, que ha crecido a través de los años gracias al diseño continuo de productos de primer orden mundial.

El proyecto permitirá conocer la importancia y funcionamiento de los transformadores de instrumento, adquirir ideas de las pruebas que se le hacen y sobre todo para qué. Las precauciones y cuidados que se deben tomar para llevar a cabo la puesta en servicio. El proyecto será del mayor agrado para poder saber un poco más acerca de equipos eléctricos primarios, ya que se explicará algunas pruebas que llevan diversos equipos, y no solo a los transformadores de instrumento.

1.3 Justificación

Los transformadores de instrumento son de gran importancia para una subestación eléctrica ya que sin ellos no se podría saber con exactitud los valores de voltajes en las líneas que van a otras subestaciones, los transformadores que miden voltajes se caracterizan por dos tipos, inductivos y capacitivos. En el caso del proyecto se dará la mayor explicación posible de un TPI (Transformador de potencial Inductivo).

En alta tensión (400KV) prácticamente si es posible medir el voltaje, pero los instrumentos serían gigantes y costosos, es por eso que se ha investigado sobre la importancia de los TPI'S, donde cabe resaltar que aíslan la red de alta tensión obteniendo baja tensión en las bobinas secundarias con muy alta precisión. Teniendo siempre las precauciones adecuadas y saber

que el mantenimiento siempre se hace desenergizado, con el equipo adecuado y basado en el Procedimiento correspondiente.

Los transformadores de instrumento tienden a tener un impacto muy importante dentro de una subestación eléctrica, en ocasiones no se sabe cuál es su importancia y funcionamiento. Una de las características más importantes, es la relación de transformación, donde dice que el voltaje en la bobina secundaria es proporcional a la tensión primaria con un desfase de ángulo casi de cero. Se comprobará que dicha teoría sea cierta y que aplique realmente en la subestación.

1.4 Objetivo

Aprender y desarrollar métodos para el montaje de transformadores de instrumento, hacer diferentes mediciones, pruebas y aplicar mantenimiento preventivo para poner en marcha al equipo.

1.5 Metodología

a) Diagrama a bloques del hardware

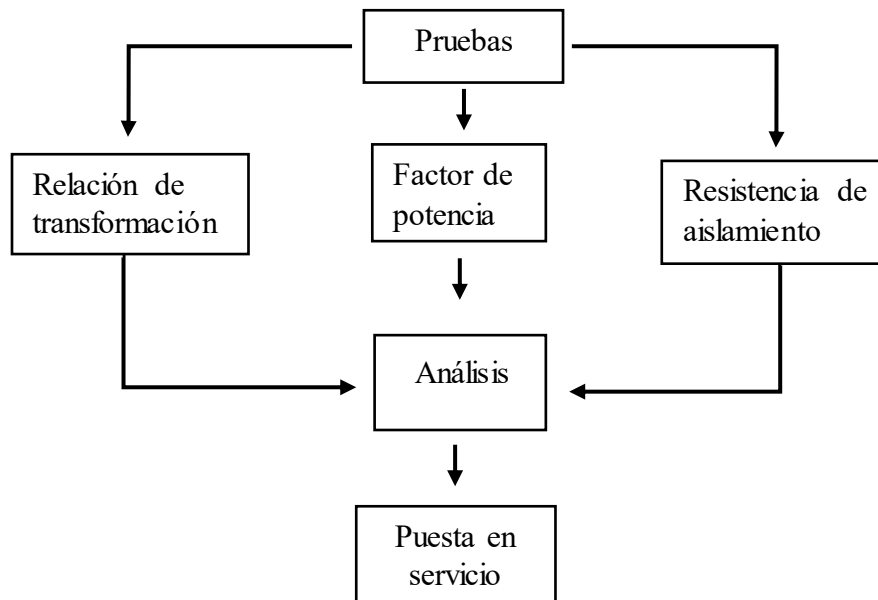


Figura 1.1 Diagrama a bloques del hardware.

Pruebas.- Se le hacen pruebas mencionadas al equipo para saber si todo está como debe, y si lo está poder estar confiados que una vez montado no va a generar detalles, y si no lo está hacer los análisis

Relación de transformación, esta prueba se realiza a través de un aparato denominado “Probador de relación de transformación” o “TTR” (Transformer Test Turn Ratio) que mide en el devanado secundario, ya que el voltaje que se mida ahí será directamente proporcional al devanado primario.

Factor de potencia.- Es el índice de pérdidas dieléctricas por unidad de volumen, ayuda a ver si el equipo es óptimo para seguir operando, dependiendo las condiciones en que se encuentre y el resultado que arroje.

Resistencia de aislamiento.- Es la oposición del aislamiento al paso de la corriente, nos ayuda a saber el envejecimiento del aislamiento o si hay contaminantes en el quipo en general, principalmente en el aceite.

Puesta en servicio.- Cuando el equipo ha sido probado y evaluado para poder ser instalado en campo, Concluyendo todas las pruebas de manera satisfactoria y en un futuro este no tenga ningún detalle técnico o falla crítica.

Análisis.- Ver si los resultados en cada prueba son aprobados y ver si requieren mantenimiento. Cada prueba es durante cierto tiempo y se toman criterios como el voltaje aplicado, el tiempo que tardó la prueba y la capacidad del equipo.

2. Fundamento teórico

2.1 Aspectos del aislamiento (aceite)

Para hablar acerca del aceite, que usan generalmente la mayor parte de los equipos eléctricos es necesario saber aspectos básicos y constructivos. Hablar del aspecto constructivo de un transformador de instrumento aclarando que, el núcleo es rectangular por cuestiones constructivas y de aislamiento, Cuenta con un solo circuito magnético y muchas espiras, que están conectadas entre fases o entre fase y tierra, donde no hay independencia entre los secundarios.

Los aislamientos de un transformador son necesarios para mantener una separación adecuada entre dos puntos de diferente potencial dentro del circuito eléctrico del propio transformador, en términos generales los aislamientos se pueden clasificar en las siguientes categorías.

- Aislamiento principal o mayor, el cual comprende la separación entre devanados diferentes de una misma fase, así como la separación entre devanados y tierra.
- Aislamiento menor, que comprende la separación entre espiras adyacentes y demás, la separación entre secciones del mismo devanado.
- Aislamiento entre fases diferentes, que comprende la separación entre los devanados de estas fases.

Los materiales que integran los aislamientos de un transformador son básicamente el papel aislante y el aceite, estos pueden operar a temperaturas máximas de 105 °C, sin pérdida de vida por degradación térmica.

Cabe mencionar que el manejar aceite por cantidades mayores es de mucha precaución y uso exclusivamente para los equipos, al ser un material químico lo transforma en material peligroso y contaminante.

2.2 Teoría general del aislamiento

El aislamiento tiene una baja conductividad eléctrica y puede ser cualquier material o sustancia. Cuando existe alguna tensión la corriente que logra pasar por el aislamiento se le denomina corriente de fuga, dichos aislamientos se pueden encontrar en los tres estados: sólidos, líquidos y gaseosos. Normalmente el orden de la corriente es de mA (mili-Ampere) dicha corriente se puede medir para efectos de diagnóstico.

Gas	Líquido	Sólido
Alto Vacío	Aceites Hidrocarburos	Celulosa (papel)
Aire	Silicones	Porcelana
SF6	Agua destilada	Fenólicos

Tabla 2.1 Estado de los materiales aislantes.

Constante dieléctrica.

Como ejemplo claro, si entre las placas de un condensador plano se introduce un dieléctrico, la diferencia de potencial disminuirá debido a la polarización en su interior. Dicho factor de disminución se le conoce como constante dieléctrica que va a depender del material.

Material	Constante dieléctrica
Aire	1,0
Aceite	2,2
Baquelita	4,5 – 5,5
Papel	2,0 – 2,6
Polietileno	2,3
Porcelana	5,7 – 6,8

Tabla 2.2 Ejemplos de constantes dieléctricas.

2.3 Principio de funcionamiento de un transformador de potencial inductivo (TPI)

El principio de funcionamiento de un transformador elemental es que, al tener dos bobinas sobre un circuito magnético (núcleo) y se alimenta una de las bobinas (primario) con una tensión de corriente alterna, se genera una inducción en la bobina primaria, y esta a su vez induce un flujo magnético el cual viaja a través del núcleo y atraviesa las espiras de la otra

bobina (secundaria). Se genera una fuerza electromotriz que es la que genera una fuerza de potencial en las terminales. Para ello se explica de manera resumida la ley de Lenz.

Ley de LENZ: Estable que un voltaje inducido hará que fluya una corriente en una dirección tal, que su efecto magnético se opone a la causa que lo produce.

El principio básico de un transformador de instrumento es reducir los altos voltajes a valores no peligrosos, normalizarlos tanto en corriente como en voltaje en cualquier sistema eléctrico. Reflejan las condiciones primarias en magnitud y ángulo del circuito de potencia con el fin de llevarlo a los esquemas de protección, sincronización y señalización.

Constan con características diferentes como: el núcleo es rectangular por cuestiones de diseño y de aislamiento, son diseñados para que no transfieran potencia si no para suministrar señales de corriente o tensión a los equipos de medición. La bobina primaria se conecta al circuito de potencia, ya sea entre fases o fase y tierra y el secundario se conecta a la carga en paralelo.

En general, es un dispositivo usado para censar tensiones a través de devanados acoplados electromagnéticamente, donde la tensión secundaria es prácticamente proporcional a la tensión primaria con un desfase de un ángulo cercano a cero. Recordando que todos los transformadores de instrumento siguen los mismos principios de operación que el transformador de potencia.

Como medidas de seguridad se recomiendan tener ciertas precauciones como cualquier otro equipo en subestaciones de potencia.

Precauciones

- Pérdida de referencia a tierra de la bobina de bloqueo
- Vigilar valores de capacitancia
- Vigilar el uso del circuito magnético (Protección, medición y radiocomunicaciones)

Ventajas

- Aísla la red de alta tensión
- Baja tensión en secundario
- Aparato de medición de baja tensión.
- Suministra circuito para radiocomunicaciones.

2.4 Relación de transformación

Esta prueba se puede llevar a cabo usando un voltmetro calibrado, pero se prefiere realizar usando un aparato denominado **“probador de relación de transformación”** o TTTR (Transformer Test Turn Ratio), que consiste de un pequeño transformador portátil con el primario fijo y con el devanado secundario teniendo un elevado número de taps conectados a dos switches selectores, uno de ajuste fino y el otro de graduación gruesa. De manera que cualquier voltaje deseado se puede obtener por medio de una lectura directa. El devanado de alta tensión del devanado bajo prueba se conecta a una alimentación de bajo voltaje de 440

V o 220V, y entonces el voltaje inducido en el devanado secundario se compara con el voltaje de salida del TTR, después se asegura que los dos voltajes estén en oposición.

La tolerancia permitida es $\pm 0. \%$ de la relación de transformación declarada. Esta prueba se lleva a cabo en vacío y es una prueba de rutina que se hace para verificar la relación de transformación de los devanados, y frecuentemente se llevan a cabo con la prueba de polaridad. En la siguiente figura, se muestra el principio de conexión.

Un transformador ideal es sería una máquina sin pérdidas, con una bobina de entrada y una de salida. Donde el devanado primario tiene N_p espiras de alambre y el devanado secundario N_s espiras. De acuerdo con la Ley de Faraday. El voltaje aplicado en el primario será equivalente a:

$$V_p = e_p = N_p \frac{d\theta}{dt}$$

El voltaje en el devanado secundario V_s es:

$$V_s = e_s = N_s \frac{d\theta}{dt}$$

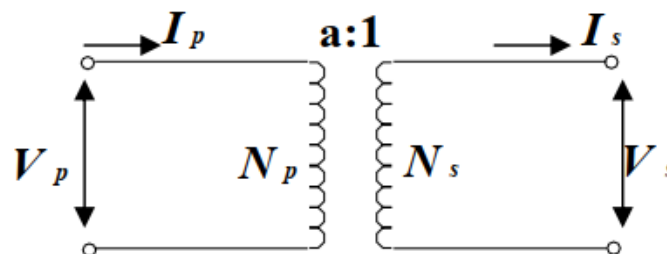


Figura 2.4 Transformador ideal

2.4.1 Polaridad del transformador

Las terminales del primario y del secundario de un transformador monofásico tienen igual polaridad cuando la diferencia de tensión entre las terminales marcadas y las no marcadas en ambos devanados, tienen la misma polaridad instantánea. En el caso del devanado primario la corriente, entra por la marca de polaridad y en el devanado secundario sale por polaridad.

La polaridad en un transformador puede ser aditiva o sustractiva. Por lo general, los transformadores de distribución se construyen con polaridad sustractiva y los transformadores de potencia con polaridad aditiva.

2.4.2 Relación práctica.

Es el valor medido que se obtiene de la medición ya sea del número de vueltas de los devanados, la relación entre voltajes primario y secundario o la relación entre corrientes de los devanados como se mencionó. También se tiene el cálculo del por ciento de diferencia

entre la relación teórica y medida, para interpretar los resultados, es necesario calcular el porcentaje de diferencia entre la relación teórica y la relación medida, según la siguiente ecuación:

$$\%DIF = \frac{RT - RM}{RT} \times 100$$

% DIF = Porcentaje de diferencia entre la relación teórica y medida.

Esta fórmula aplica se aplica para la puesta en servicio, donde se compara la medición de la placa. Para las pruebas subsecuentes los valores medidos no deben de cambiar. Es decir el valor de la relación de la medición obtenido en la puesta es con la que se debe comparar en adelante.

2.5 Factor de potencia

El factor de potencia nos permite verificar las características dieléctricas de un equipo primario, para ello se lleva a cabo una serie de procedimientos en donde se detalla claramente cada uno de los pasos, principalmente se resalta que, el factor de potencia se define como el coseno del ángulo entre el vector del voltaje aplicado y el vector de la corriente total que circula por el por el aislamiento bajo prueba.

El Factor de potencia de un dieléctrico es una indicación de pérdidas por unidad de volumen. Este factor incrementa por alguna de estas condiciones: Envejecimiento, contaminación, fallas, degradación, etc. Tratando de ser lo más claro posible para que de este modo quede de manera estructurada a fin de no tener dudas se responde a las siguientes preguntas. ¿Qué es el factor de potencia? Y ¿Cuál es su finalidad?

El factor de potencia es la relación de las pérdidas del dieléctrico (watt, miliwatt), entre la carga que demande el aislamiento bajo prueba (mili-Ampere, milivolt-Ampere). El valor obtenido para algún aislamiento en particular va a depender de condiciones como: humedad ionización y temperatura.

La finalidad de la medición es para poder detectar los parámetros eléctricos de los aislamientos tales como la capacitancia, factor de potencia y pérdidas dieléctricas en C.A (mili milivolt-Ampere) El porcentaje del factor de potencia (%FP) es calculado usando la pérdida en watt de la corriente total medida.

$$FP = \frac{(Pérdidas en Watt)(100)}{(Voltaje de prueba)(Coerriente total)}$$

Donde:

El voltaje de prueba es en *KV* y la corriente total en *mA*.

Desde las mediciones del M2H en términos equivalentes del valor de 10 KV, entonces

$$FP = \frac{(P\acute{e}rdidas\ en\ Watts)(10)}{\mu A}$$

Los valores obtenidos de factor de potencia deben de ser referenciados a una temperatura de 20°C de tal manera que su pueda evaluar a una misma temperatura y su tendencia en futuras mediciones.

2.5.1 Modos básicos de prueba

Para entender la medición de factor de potencia, es conveniente considerar las condiciones de la fuente de C.A el circuito puente, y el espécimen de prueba con respecto a tierra y la terminal de bajo voltaje. Existen tres maneras diferentes para hacer pruebas, Modo GST, modo GST-G y modo UST.

- **Modo GST “*Grouded – Speciment Test.*”**

En este modo toda la corriente entre la fuente de CA tierra es medida por el puente, se usa cuando una de la terminal del aislamiento que va a ser medido está conectado permanentemente a tierra, así como el tanque del transformador o la brida de una boquilla. Se conecta la terminal de bajo voltaje directamente a tierra o a un punto referenciado.

- **Modo GST-G “*Grouded – Speciment Test with Guard.*”**

De igual manera la corriente de CA y tierra es medida a través del puente, pero como el nombre lo dice, en este modo se cuenta con un circuito de prueba Guard (Guarda), donde la corriente de prueba hace un retorno directamente a la fuente de tensión omitiendo el circuito de medición. Este modo se usa para aislar una sección individual. Es decir se hace un bypass de la terminal a guarda del circuito de medición.

- **Modo UST “*Undergrounded Speciment-Test.*”**

En este modo únicamente la corriente entre la fuente de voltaje y la terminal de bajo voltaje es la que se mide, si existe una corriente que fluya hacia la terminal de tierra presente, esta retornara directamente a la fuente de tensión y omite al circuito de medición.

2.5.2 Aplicaciones y procedimientos de prueba

De los modos que se han visto, es hora de saber el modo de prueba para el transformador de potencial, en teoría. Para transformadores de potencial o de instrumento consisten de dos devanados, uno de alto voltaje y otro de bajo voltaje.

El devanado de alto voltaje puede tener cada terminal descubierta a través boquillas separadas, o una sola terminal descubierta por medio de una sola boquilla y la terminal conectada a tierra. Normalmente el devanado de bajo voltaje no se prueba.

Para hacer la medición en las boquillas, ambas se deben poner en corto circuito en el devanado de alta tensión, aterrizando solo una terminal del devanado de baja tensión para evitar cortos circuitos durante las pruebas cruzadas de comprobación. Para efectuar la medición se procede de esta manera:

Se quita el cortocircuito de entre las boquillas del potencial, se energiza H_1 y H_2 conectando el hilo de guarda y se toman lecturas de mVA y mW . Después de eso se energiza H_2 y se conecta al anillo de guarda H_1 , de nuevo se procede a tomar lecturas de mVA y mW .

Para poder considerar que el transformador de potencial (TPI) está en buenas condiciones se deben de comparar los valores medidos, deben de ser similares o iguales. Siempre y cuando el factor de potencia sea bajo.

<i>Conexiones</i>						
<i>N° de prueba</i>	<i>Modo de prueba</i>	<i>Energizar</i>	<i>Ground</i>	<i>Guard</i>	<i>UST</i>	<i>Mide</i>
1	GST	H_1, H_2	X_1	---	---	$C_H + C_{HX}$
2	GST	H_1, H_2	---	X_1	---	C_H
3	GST	H_1	X_1	H_2	---	$C_H + C_{HX}$
4	GST	H_2	X_1	H_1	---	$C_H + C_{HX}$

Tabla 2.5 Conexiones y modos de prueba

Un alto factor de potencia para una de las pruebas cruzadas de comprobación nos indica que una boquilla, o la sección de devanado más próxima a la boquilla están falladas. Si es esto llegara a ocurrir, lo que se debe de hacer es probar las boquillas por separado.

Si el factor de potencia llegara a ser alto para ambas pruebas cruzadas así como para la prueba completa, será indicativo que existe un deterioro en el transformador, ya sea en el aceite, devanado o boquillas, por lo cual es recomendable probar por separado cada elemento.

Así mismo es posible que en la prueba de comprobación se obtenga una lectura negativa, esto indica que 'posiblemente el devanado de alta tensión se encuentre abierto.

2.6 Resistencia de aislamiento

En esta prueba se describen los factores que afectan la medición, el método de prueba, tipos de conexiones, la interpretación y análisis de los resultados. Se llegará a fondo y así poder saber. ¿Qué es la resistencia de aislamiento? y ¿Para qué hacer la prueba de resistencia de aislamiento? Bien, la resistencia de aislamiento se define como la oposición del aislamiento al paso de la corriente eléctrica al aplicar un voltaje con corriente directa. Está en función del tiempo y de la magnitud del voltaje aplicado, se mide en Megaohms (MΩ).

El objetivo de aplicar la prueba de resistencia de aislamiento es para poder determinar si existen contaminantes o ver el estado de envejecimiento del aislamiento.

Del mismo modo se emplea como una medida de control para proceder aplicar voltajes de prueba de corriente alterna, con los valores obtenidos en esta prueba se calcula el índice de polarización que es relacionado con la cantidad de humedad que pueda existir en el aceite (En este caso aplica para transformadores de potencia).

Para entender a fondo que es lo que ocurre internamente al hacer la prueba en un equipo eléctrico, es necesario entender y tener en cuenta algunos conceptos, que tienen gran importancia el poder interpretarlos. Se muestran a continuación dichos conceptos.

2.6.1 Corriente de aislamiento

Cuando se aplica un voltaje de corriente directa a un aislamiento, se genera una corriente que se denomina *corriente de aislamiento* y se integra por **dos** componentes principales:

Corriente de fuga

Corriente que fluye en el volumen del aislamiento

(Formada por tres corrientes). Estas corrientes se presentan en la medición de resistencia de aislamiento.

- Corriente capacitiva
- Corriente de absorción dieléctrica
- Corriente de conducción irreversible

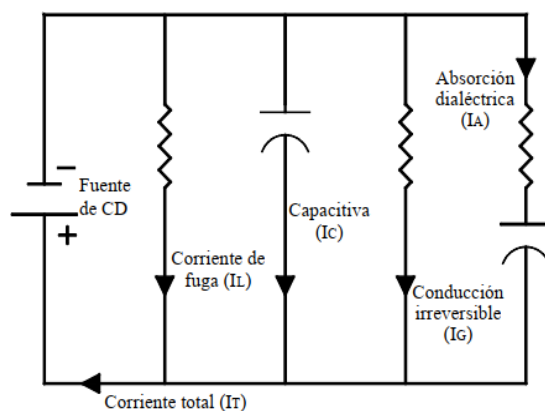


Figura 2.5.1 Circuito equivalente generado por la medición de resistencia de aislamiento

Corriente capacitiva: Esta corriente tiene un valor inicial alto y conforme se carga la capacitancia, esta tiende a nivelarse hasta alcanzar un valor despreciable en un tiempo máximo de 15 segundos, debido a este efecto la resistencia inicial del aislamiento tiene un valor bajo. Es decir, cuando se aplica un voltaje con corriente directa la resistencia del aislamiento inicia con un valor bajo y aumenta gradualmente con el tiempo.

Corriente de absorción dieléctrica: Esta corriente va decreciendo gradualmente en minutos, desde un valor relativamente alto a un valor cercano a cero. Generalmente, los

valores de resistencia obtenidos en los primeros minutos de una prueba se determinan por esta corriente. El tiempo en que el valor de la corriente llegue a un valor despreciable, dependerá del volumen y el tipo de aislamiento normalmente se espera 10 minutos. A la curva que se obtiene al graficar los valores de resistencia de aislamiento contra el tiempo, se le denomina curva de absorción dieléctrica. La pendiente de esta curva indica la relatividad del secado, degradación o contaminación del aislamiento. De este modo es fácil encontrar detalles en el aislamiento, ya que si existe humedad o contaminación el valor de la alcanzará un valor estable en uno o dos minutos.

Corriente de conducción irreversible: Fluye a través del aislamiento, es prácticamente constante y predomina cuando la corriente de absorción es despreciable. La corriente de fuga es pequeña y fluye sobre la superficie del aislamiento, es casi constante y ambas permiten analizar las condiciones del aislamiento, su valor es afectado debido a las condiciones superficiales (humedad y contaminación).

2.6.2 Índices de absorción y polaridad

El índice de absorción i_a es la relación entre el valor de resistencia de aislamiento a 1 minuto y el valor a 30 segundos.

$$i_a = \frac{R_{\text{aisl 1 min.}}}{R_{\text{aisl 30 seg.}}}$$

El índice de polarización i_p se expresa como la relación entre el valor de resistencia de aislamiento a los 10 minutos y la relación a 1 minuto a partir de que el voltaje es aplicado.

$$i_p = \frac{R_{\text{aisl 10 min.}}}{R_{\text{aisl 1 min.}}}$$

Estos índices se presentan debido al cambio en la corriente de absorción dieléctrica con respecto al tiempo, ayuda a medir la variación de la resistencia eléctrica de los aislamientos en función del tiempo al aplicarles un voltaje de corriente directa. Es considerado como un método indirecto para determinar el contenido de humedad en los aislamientos de máquinas eléctricas. Recalcando que este método no es recomendable para transformadores que estén sumergidos en aceite. Es sencillo de deducir ya que el concepto de i_a se basa al comportamiento de estructuras rígidas de materiales sólidos.

2.6.3 Factores que afectan la medición de resistencia de aislamiento

Se explicará cada uno de los factores que afectan la medición de resistencia de aislamiento y que para el equipo de medición no son atribuibles:

- Conexiones inadecuadas o erróneas
- Efectos de la condición de la superficie del aislamiento
- Efecto de la humedad
- Efecto de la temperatura
- Potencial de prueba aplicado

- Efecto de la duración de aplicación de voltaje de prueba
- Efecto de la carga residual
- Tratamientos especiales

Conexiones erróneas o inadecuadas

Para asegurarnos de eliminar errores en la medición se debe verificar detalles mínimos. Por ejemplo: que las conexiones correspondan al circuito de medición adecuada además de evitar falsos contactos en las conexiones de prueba. Otra de las cosas a tener en cuenta sería verificar el estado del cable de medición y su calidad.

Efectos de la condición de la superficie del aislamiento

Al tener la gran mayoría de los equipos eléctricos en la intemperie, el aislamiento queda expuesto, y tales casos se representan por tener superficies aislantes relativamente grandes. Los elementos contaminantes tales como el carbón, el polvo o el aceite depositados en la superficie de aislamiento, provoca que la resistencia de aislamiento disminuya. El polvo seco depositado sobre la superficie no es conductor el detalle es cuando esta es expuesta a la humedad se vuelve parcialmente un conductor y por lo consiguiente la resistencia de aislamiento disminuye. Por lo tanto se deben de eliminar toda materia extraña que esté depositada sobre el aislamiento antes de hacer mediciones.

Efecto de la humedad

En la actualidad los equipos eléctricos primarios se construyen con aislamientos que no absorban humedad. Sin embargo, si la temperatura del devanado alcanza valores menores o igual al punto de rocío, se llega a formar una capa de humedad sobre la superficie reduciendo la resistencia. El mismo fenómeno se presenta en las porcelanas de las boquillas, cuando se tiene alta humedad en el ambiente, siendo más grave si la superficie está contaminada.

Efecto de la temperatura.

En la mayor parte de los materiales aislantes, la resistencia de aislamiento varía inversamente con la temperatura. Para comparar apropiadamente las mediciones periódicas de resistencia de aislamiento, es necesario efectuar las mediciones a la misma temperatura, pero no siempre se podría hacer esto, ya que no siempre se repiten las mismas temperaturas. Para ello se puede convertir cada medición a una misma base. Dicha conversión se hace con la siguiente ecuación.

$$R_c = K_t * R_t \dots [1]$$

Dónde:

R_c = Resistencia de aislamiento corregida a la temperatura base (M Ω)

K_t = Coeficiente de corrección por temperatura.

R_t = Resistencia de aislamiento a la temperatura que efectuó la prueba (M Ω)

La base de temperatura recomendada por los comités de Normas son: 40 °C para máquinas rotatorias 20 °C para transformadores y 15.6 °C para cables.

Para los demás equipos, como interruptores, apartarrayos, boquillas etc. No existe temperatura base. Esto se debe a que, en estos equipos, la variación de resistencia de aislamiento con respecto a la temperatura no es notable.

Potencial de prueba aplicado

La medición de resistencia de aislamiento es, en si una prueba de potencial. Por lo tanto el voltaje aplicado debe restringirse a valores apropiados, los cuales dependen de la tensión nominal de operación de equipo bajo medición y de las condiciones de su aislamiento. Normalmente al utilizar voltajes altos las lecturas de resistencia de aislamiento disminuye.

Voltaje clasificado en bobina (V)	Voltaje directo de la prueba de resistencia de aislamiento (V)
< 1 KV	500 V
1 - 2.5 KV	500 - 1000 V
2.5 - 5 KV	1 - 2.5 KV
5 - 12 KV	2.5 - 5 KV
> 12 KV	5 - 10 KV

Tabla 2.6 Niveles de tensión aplicados durante la prueba de resistencia de aislamiento

Si al aumentar la el voltaje de prueba se reducen significativamente los valores de resistencia de resistencia de aislamiento, esto puede indicar que existen imperfecciones o fracturas en el aislamiento, posiblemente agravados por humedad suciedad. Si hay presencia de alguna imperfección puede ocasionar reducciones en los valores de resistencia de aislamiento.

Efectos por la duración de voltaje aplicado y la carga residual.

Estos efectos son las consecuencias al aplicar un voltaje en C.D; dependerá de cuánto tiempo se llevó a cabo, cada una de ella tiene una importancia muy considerable. El tiempo para máquinas rotatorias son 10 minutos, mientras que para los interruptores, apartarrayos, transformadores de instrumento y demás equipo primario es de 1 minuto (recomendable).

Lo más probable es encontrar cargas capacitivas en el aislamiento y esto es un factor que afecta las mediciones de resistencia de aislamiento y absorción dieléctrica. La carga se origina por trabajar al equipo aislado de tierra o por aplicarle un voltaje en C.D.

Para hacer pruebas es necesario que antes se descarguen los aislamientos mediante su conexión a tierra.

2.6.4 Métodos de medición de la resistencia de aislamiento.

Existen 3 métodos prácticos para medir la resistencia de aislamiento:

- Método de corto tiempo
- Método de tiempo-resistencia o absorción dieléctrica
- Método de voltajes múltiples

Método de corto tiempo

Este método en teoría es el más básico y rápido, ya que consta de conectar el equipo de medición de resistencia de aislamiento al equipo eléctrico que se desea medir, aplicar voltaje de prueba durante un minuto y tomar la lectura final.

Para fines de normalización es recomendable aplicar un voltaje de prueba durante 60 segundos y así poder realizar comparaciones con los datos de pruebas existentes y futuros

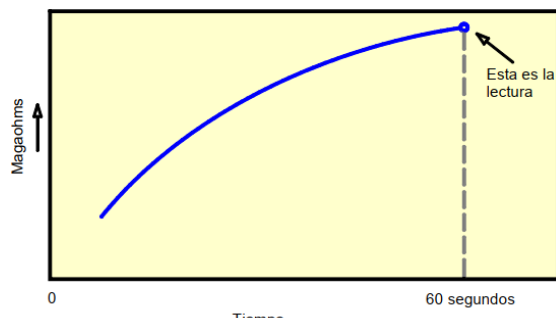


Figura 2.5.4-A. Curva de resistencia de aislamiento dada en Megaohms.

Método tiempo-resistencia o absorción dieléctrica.

Este método consiste en aplicar el voltaje de prueba durante 10 minutos, durante la prueba se toman lecturas con intervalos de tiempo de acuerdo con el formato de prueba correspondiente al equipo bajo medición.

Su aplicación se basa en las características de absorción del aislamiento. Este método proporciona una buena referencia para evaluar el estado de los aislamientos en aquellos equipos con característica de absorción considerables, como son los transformadores de potencia, sobre todo cuando no existe historial de pruebas anteriores.

En la siguiente figura se observa la gráfica de resistencia de aislamiento para dos transformadores de potencia con una duración de 10 minutos.

En este intervalo de tiempo se toman mediciones cada 15 segundos durante el primer minuto y después cada minuto hasta completar el tiempo de prueba.

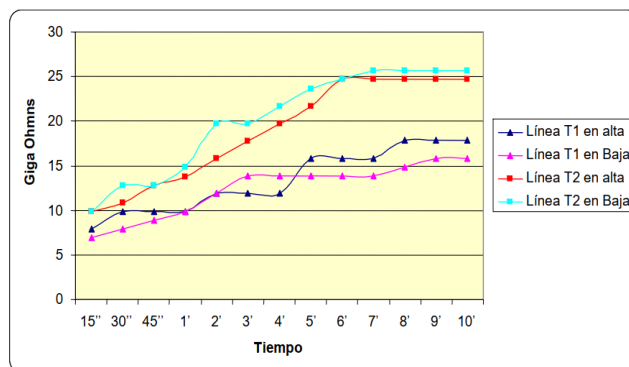


Figura 2.5.4-B Resistencia de aislamiento a 20 °C a dos transformadores de potencia

Método de voltajes múltiples

Este método tiene su principal aplicación en la evaluación del aislamiento de las máquinas rotatorias, con voltajes menores a 6.6 KV, que de igual forma es una herramienta para evaluar los aislamientos cuando se carece de historial.

Este método se apoya en el hecho de que conforme se incrementa el voltaje de prueba se incrementan los esfuerzos eléctricos sobre el aislamiento, al aproximarse o superar las condiciones de operación. La influencia de los puntos débiles en el aislamiento en las lecturas de resistencia adquiere mayor importancia al sobrepasar cierto límite.

Cuando esto ocurre se tiene una disminución considerable en el valor de la resistencia de aislamiento, la cual se aprecia claramente al graficar las lecturas obtenidas contra el voltaje aplicado.

Es conveniente que el nivel superior de voltaje de prueba sea suficiente para provocar esfuerzos eléctricos equivalentes o mayores a los normales. Sin embargo hay casos en donde se aplica voltajes de pruebas menores, y también se pueda detectar la presencia de humedad o algún otro contaminante en el aislamiento.

Se recomienda que los pasos de voltaje aplicados tengan una relación de 1 a 5 o mayor (por ejemplo 500 V y 2,5 KV). Un cambio del 25% en el valor de la resistencia de aislamiento para esta relación de voltajes, generalmente se debe a la presencia excesiva de humedad u otros contaminantes.

Este método considera cuatro prácticas para realizar la medición:

- a) Aplicar cada nivel de voltaje durante el tiempo necesario para que desaparezca la corriente de absorción, descargando completamente, en cada paso el aislamiento.
- b) Aplicar cada nivel de voltaje durante un minuto sin descargar el aislamiento entre cada paso.
- c) Aplicar cada nivel de voltaje durante un minuto con períodos de descarga de un minuto, entre cada nivel.

- d) Aplicar cada nivel de voltaje durante un minuto descargando completamente, entre cada nivel, el aislamiento.

Para saber en qué condiciones se encuentra el aislamiento se considera lo siguiente:

En el inciso “a”, si la relación entre resistencia y voltaje permanece constante, se considera que está en buenas condiciones.

En el caso de las prácticas indicadas en los incisos b y c, aun cuando la interpretación es sencilla, requiere tomar en cuenta la influencia de la energía absorbida en cada paso, debido a la característica de absorción del aislamiento.

2.6.5 Medición de resistencia de aislamiento a transformadores de instrumento

La medición de la resistencia de aislamiento es la medición comúnmente utilizada para determinar las condiciones de los aislamientos de un transformador. Esta medición ayuda a la detección de humedad, evaluación de las condiciones del aceite y la detección de daños en elementos aislantes. Además, permite obtener información rápida y confiable de las condiciones del aislamiento total que integra el transformador bajo medición.

La medición de la resistencia de aislamiento es la medición comúnmente utilizada para determinar las condiciones de los aislamientos de un transformador. Esta medición ayuda a la detección de humedad, evaluación de las condiciones del aceite y la detección de daños en elementos aislantes. Además, permite obtener información rápida y confiable de las condiciones del aislamiento total que integra el transformador bajo medición.

Para que los resultados de las pruebas sean comparables, se deben realizar las mediciones al mismo nivel de tensión y se recomienda que el equipo de medición utilizado esté calibrado y debidamente certificado.

Preparación del transformador bajo medición.

Para poder lograr la medición de resistencia de aislamiento es necesario e importante saber los pasos, tanto por la seguridad del personal que aplica la prueba como para el equipo primario y medición.

Librar completamente el transformador desconectando todas las terminales de boquillas.

Asegurarse que el tanque del transformador esté sólidamente aterrizado.

Al inicio de cada medición es necesario drenar cualquier carga estática que pueda estar presente en los devanados. Cortocircuitando las fases del transformador y drenando a tierra durante diez minutos

Desconectar los neutros de los devanados, colocar puentes que se requieran entre las terminales de las boquillas del devanado primario, del secundario y del terciario

Durante la medición, es de debido cuidado y precaución fijarse a los cambios bruscos de temperatura en el ambiente. Preferentemente las mediciones de deben efectuar cuando la humedad relativa es menor de 75%

Procedimientos de las mediciones

El tiempo de duración para cada medición es de diez minutos. Se toman las lecturas a los 30 y 60 segundos que la prueba inicia, después se toman lecturas a cada minuto, es decir, a los 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 minutos de iniciada la prueba. En la medición, se debe aplicar el máximo voltaje de prueba del medidor de resistencia de aislamiento, tomando en consideración el voltaje nominal del devanado del transformador bajo medición. Se toman las lecturas de temperatura del aceite y del ambiente y de humedad relativa.

Criterios para interpretar los resultados

La única manera de saber con seguridad la resistencia en un devanado es analizando la tendencia de valores obtenidos en otras pruebas, por tal motivo es recomendable graficar los datos que se hacen ya sea anual o semestralmente para que sea más sencillo poder interpretar los resultados.

3. Desarrollo

3.1 Descripción de los circuitos realizados

Se describen algunos de los circuitos que se llevan a cabo, ya sea para pruebas o para darles mantenimiento, que en teoría sería prácticamente lo mismo. Las pruebas que se le hacen a los transformadores de instrumento son tres como ya fue comentado. Lo que se hará es una descripción de las conexiones en cada punto.

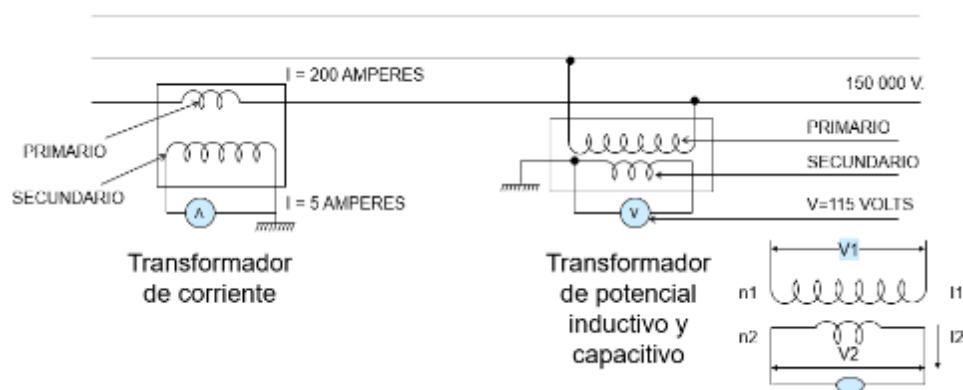


Figura 3.1 Esquema de conexión de transformadores de instrumento

En general Un TPI es un Dispositivo usado para censar tensiones a través de Devanados acoplados electromagnéticamente donde la tensión secundaria es prácticamente proporcional a la tensión primaria y con un desfásamiento de un ángulo cercano a cero.

- Primario conectado entre Fases o de Fase a Tierra.
- Secundario conectado a la carga en paralelo.

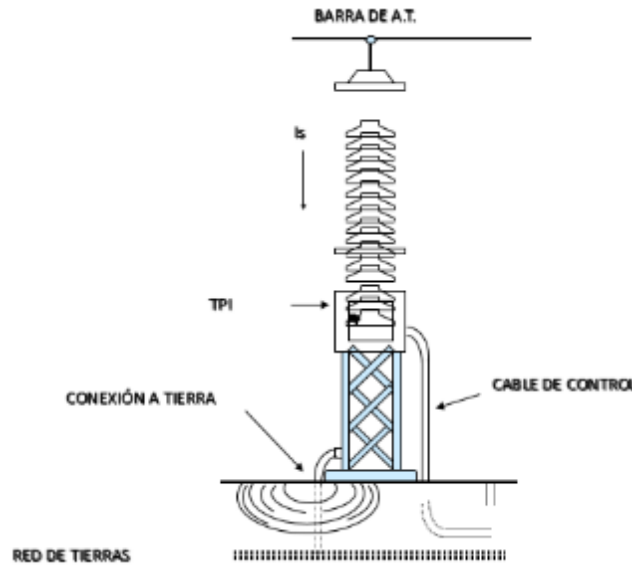
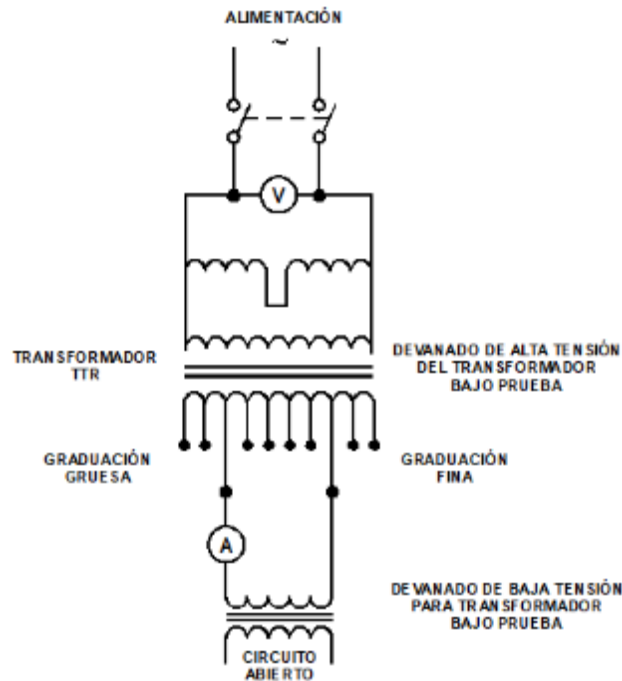


Figura 3.1.2 Diagrama general de un TPI

Circuito para prueba de relación de transformación de un transformador



Modos de medición para el factor de potencia. El concepto es explicado en el apartado de Fundamento teórico “Modos básicos de prueba para el factor de potencia”

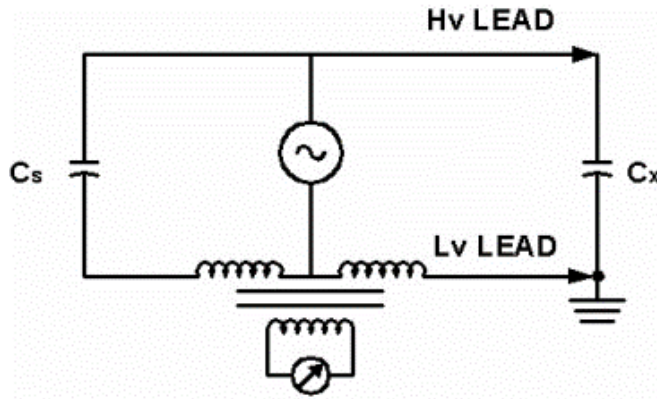


Figura 3.1.3 Modo GST Grouded Speciment-Test.

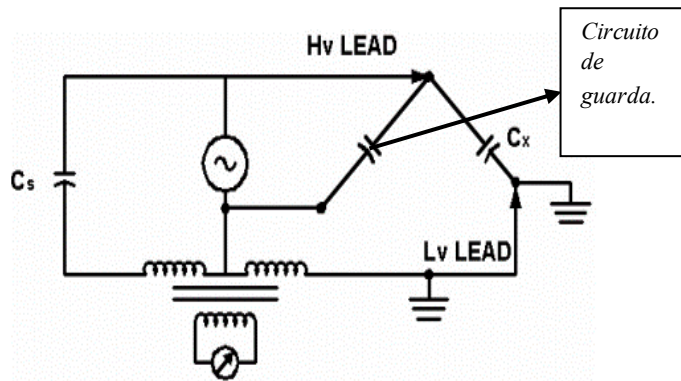


Figura 3.1.4 Modo GST-G Grouded – Specimen Test with Guard.

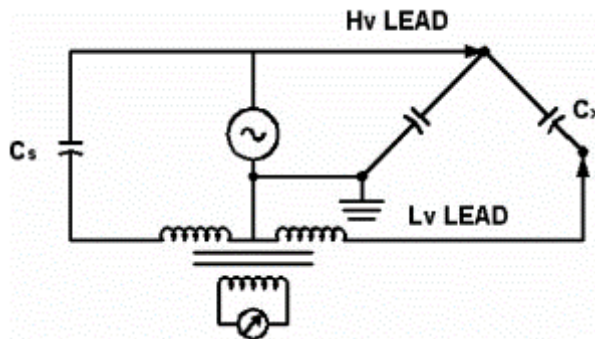


Figura 2.1.5 Modo UST “Undergrounded Speciment-Test.”

El devanado de alto voltaje puede tener cada terminal descubierta a través boquillas separadas, o una sola terminal descubierta por medio de una sola boquilla y la terminal conectada a tierra.

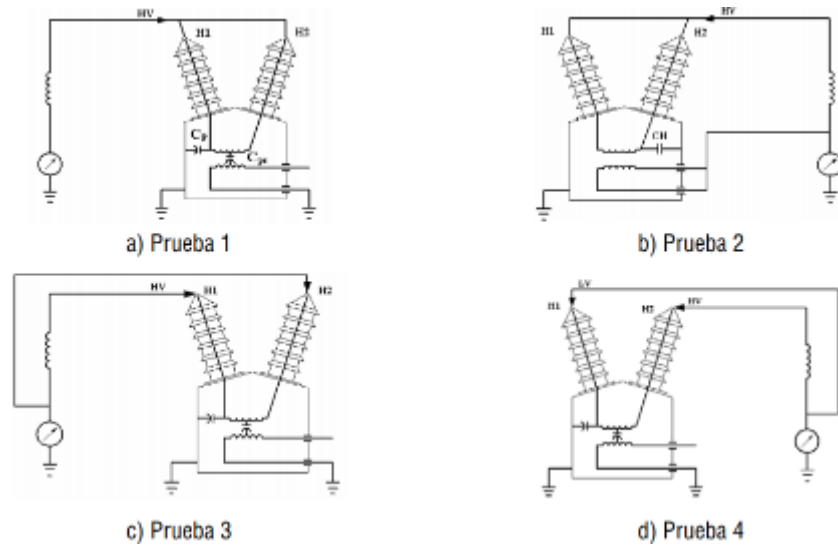
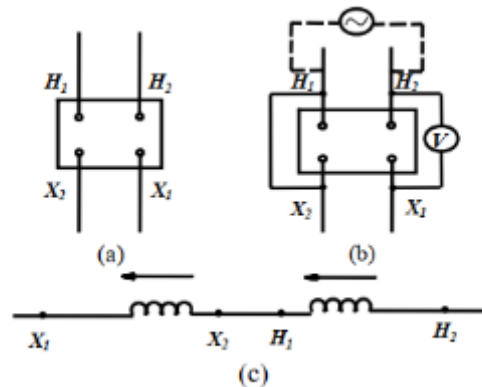


Figura 3.1.6 Pruebas a Transformador de potencial de dos boquillas

Polaridades del transformador

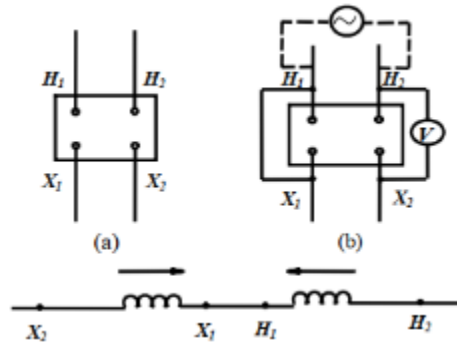
- Polaridad aditiva

Cuando la conexión del lado de alta, H1, y la del lado de baja, X2, se encuentran en el mismo lado del transformador, se dice que la polaridad es aditiva.



- Polaridad sustractiva

Cuando la conexión del lado de alta, H1, y la del lado de baja, X1, se encuentran en el mismo lado del transformador, se dice que la polaridad es sustractiva,



3.2 Descripción de los programas realizados

En este paso lo que se hará es describir los pasos realizados para llevar a cabo la puesta en servicio del TPI de 400 kV en el BUS 2 desde que se hace la solicitud hasta que el TPI nuevo esté montado y listo para operar.

- Solicitud en muerto sobre el bus 2 en el que está instalado el TPI.

A cada libranza, a cada mantenimiento incluso cuando es una emergencia, todo se debe hacer mediante solicitudes, de este modo el operador se mantiene al corriente del lugar donde se va a trabajar y de las actividades que se realizarán. Mientras la solicitud no sea autorizada no está permitido iniciar con los trabajos.

- Iniciar con la RIJ/RIM

Ya sea que haya o no una libranza que requiera maniobra es una costumbre hacer la RIJ (Reporte inicio de jornada) en donde el jefe se dispone a dar una charla común, de saber cómo está el personal y tratar de crear un ambiente laboral más emotivo. Se habla acerca de lo que se escribe a se dictamina en la orden de trabajo que es donde le dice a cada personal lo que hará ya sea en el día o durante toda la semana. Además se discuten cosas que pasaron durante el trabajo anterior, ya sea para aclarar o para mejorar las cosas, las cosas dentro de la empresa se tratan de hacer de la mejor manera.

Respecto a la RIM (Reporte inicio de maniobra) como no siempre se realiza maniobra no es de todos los días, cuando toca hacerla es similar a la RIJ con la diferencia que el jefe debe estar seguro que al personal que puso para realizar la maniobra esté apto para realizar dicha maniobra.

- Verificar que la bahía al que esté conectado esté desenergizado (Interruptores y cuchillas abiertas)

Una vez que la solicitud en muerto sobre el BUS 2 se autoriza se comienza abrir cada equipo eléctrico primario que esté sobre el BUS (Cuchillas e interruptores) No tiene que haber ningún interruptor o cuchilla abierta, todo debe de estar cerrado y asegurado.

- Aterrizamiento en sus 3 fases del BUS 2



- Acercar la plataforma para desconexión del TPI y asegurar el aterrizamiento.

Para llevar a cabo el desmontaje del TPI se hizo una serie de pasos y de maniobras. En primer lugar se llevó la plataforma, en donde el personal podrá trabajar en alturas sin ningún problema.



Figura 3.2.2 Desconexión del lado primario de alta tensión

Se observa en la fotografía que personal eléctrico lleva a cabo la desconexión del TPI en el lado primario (alta tensión).

Mientras se hace dicha desconexión, en la parte de la base se procedió a aflojar los tornillos que sujetan al TPI y no perder tanto tiempo



Figura 3.2.3 Aflojamiento de tornillos en la base del TPI

- Desconexión (Lado primario y secundario) del TPI en coordinación con el departamento de protecciones.

Como se puede observar la desconexión del lado primario se llevó a cabo, lo que restaba era la desconexión del lado secundario (Parte de las mediciones y protecciones) que se encarga el departamento de protecciones.



Figura 3.2.4 Desconexión del lado secundario del TPI

- Posicionar grúa para maniobra de desmontaje del TPI

Ya que el lado primario y el lado secundario se encuentran desconectados, se llevó la grúa para pasar a desmontar y quitar el TPI. Se coloca una eslinga de carga en la parte superior del TPI que es donde la grúa hará la fuerza y levantará al equipo.



Figura 3.2.5 Colocación de eslinga de carga en la parte superior del TPI

Cabe mencionar que el TPI que se va a quitar se hace por dos partes, por cuestiones de diseño justo por la mitad lleva un enroscamiento en donde de igual forma se aflojan los tornillos para así quitar la primera parte.



Figura3.2.6 Se observa cómo se quitan los tornillos en la parte de en medio del TPI.



Figura 3.2.7 Primera parte del TPI quitado, listo para ser ubicado en camión

- Poner TPI sobre una base firme para posterior traslado

El siguiente punto es casi el último respecto al desmontaje, ya que consta de poner las dos partes del TPI a un camión, para su fácil traslado y, una vez que esté listo proseguir a llevar a sitio el TPI nuevo. Teniendo preparado las cosas respecto a lo que vaya a continuar que sería el montaje del TPI nuevo.



Figura 3.2.8 En la imagen se observa cómo se sujeta el TPI a la grúa

Lo siguiente a realizar fue colocar sobre el camión las dos partes que componen al TPI que quede de manera sujeta y firme, para su posterior traslado. De tal manera que cuando se vayan a quitar de donde esté sea más sencillo realizar la maniobra.



Figura 3.2.9 Colocación del TPI en dos partes sobre el camión

- Maniobra de traslado de TPI nuevo a sitio

Lo siguiente es transportar el TPI nuevo, trasladarlo del camión donde se ubica y llevarlo a sitio para proceder a montarlo y así ir terminando con la puesta en servicio.



Figura 3.2.10 Desplazamiento de TPI nuevo a sitio

Una vez teniendo el TPI en sitio lo que se procede es a sujetar con la eslinga y con toda la idea del mundo sobre la parte de en medio del TPI, y enganchar con la grúa para su traslado hacia la base.



Figura 3.2.11 Levantamiento del TPI con la grúa en comunicación con el operador de grúa.

- Maniobra de montaje del TPI nuevo.

La maniobra requiere la misma precaución y el mismo cuidado, entre comillas podría decirse que es más sencillo hacer la maniobra para fijar el TPI que para desmontarlo. Se observa en la fotografía además que el TPI nuevo ya no se sube por partes sino de un solo movimiento, es más largo y más delgado.



Figura 3.2.12 Posición totalmente vertical del TPI nuevo.

Se requiere sobre todo de mucha comunicación entre el operador de grúa y el eléctrico de apoyo a la maniobra, el entendimiento debe de ser mutuo y claro para una fácil y mejor comprensión a la hora de la instalación. Se observa que el TPI está en la base listo para el apriete de los tornillos.



Figura 3.2.13 Comunicación entre el operador de grúa y el eléctrico.

Todo está casi listo, una vez que el TPI quedó en la base, se apretaron los tornillos en la base y posteriormente en la parte de en medio, justo como se aprecia en la fotografía.



Figura 3.2.14 TPI puesto en la base, apretado y listo para conexiones en alta y baja tensión.

- Fijar el lado primario y posteriormente el lado secundario (cableado) y luego aterrizar.

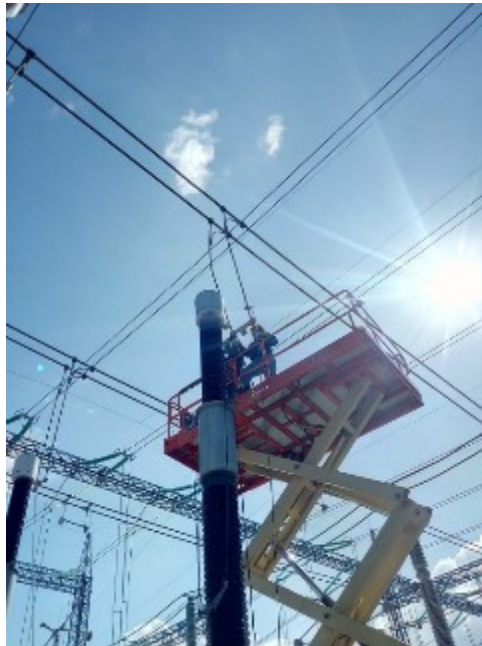


Figura 3.2.15 Conexión a alta tensión del lado primario del TPI

3.3 Descripción de las pruebas, correcciones y validación

Cabe aclarar que las pruebas a un TPI normalmente cuando son nuevos, se realizan antes de ponerlos en servicio, tanto para ver que se entregó de manera óptima como para saber cuál será su comportamiento en los próximos años



Figura 3.3 Equipo de prueba TDR 9000

Normalmente cuando el TPI es nuevo, no se requieren que se hagan correcciones ya que pasan las pruebas sin ningún problema. Por lo tanto la validación es de “Ok” las pruebas realizadas se hacen para comprobar que todo está como debería y que no hay errores de fábrica.

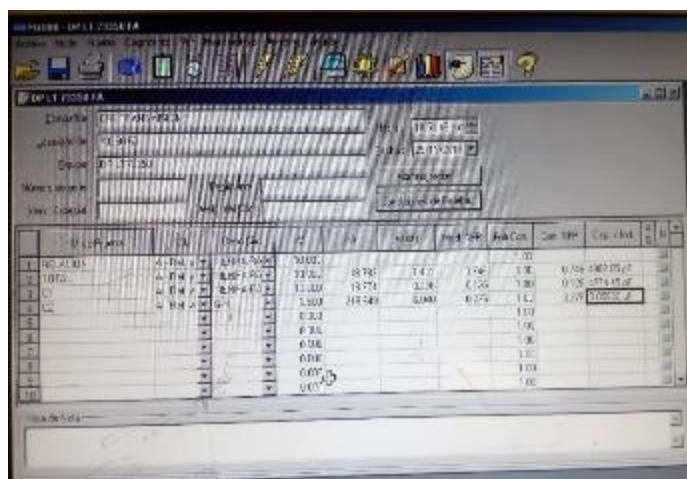


Figura 3.3.1 Software del equipo de prueba TDR9000

El equipo de medición funciona en base a los puntos de conexión que se hagan físicamente, la medición lo hace en cuestión de un minuto y muestra resultados prácticos, siempre y cuando el equipo esté calibrado.

4. Resultados y conclusiones

Prueba de Factor de potencia a equipo misceláneo.

Medición	KV	Micro Ampere	Watt	Factor de potencia a 20 °C	Capacitancia en p.f.
C2	10	5.685	1.471	2.587	1507.47
C1	10	1.266	0.222	1.756	335.77
Corriente de excitación	10	0.926	0.192	2.073	245.58
Corriente de excitación inversa	10	0.921	0.215	2.330	244.19
Capacitor	10	36.005	0.238	0.066	9550.64
Relación X1 - X3	10	0.017	-----	-----	4.57 pF
Relación X2 - X3	10	0.010	-----	-----	2.76 pF
Relación Y1 - Y3	10	0.017	-----	-----	4.58 pF
Relación Y2 - Y3	10	0.010	-----	-----	2.76 pF

Tabla 4.1 Resultados de la prueba de Factor de Potencia

Prueba de Resistencia de aislamiento a equipo misceláneo.

Equipo: TPI 400 KV nuevo a BUS 2, Marca: Arteche.

Equipo de prueba: Meggohmetro

Prueba N°	1 P/S+T	2 S/T
Tensión de prueba	500 VCD	5000 VCD
Línea	H1 + H2	Secundarios
Guarda	Tierra	Tierra
Tierra	Secundarios	Tierra
Tiempo	Lecturas	Lecturas
15 seg.	41.26 Ω	15.40 G Ω
30 seg.	51.06 G Ω	16.94 G Ω
45 seg.	59.30 G Ω	18.41 G Ω
1 min.	67.25 G Ω	18.54 G Ω
2 min.	103.4 G Ω	17.76 G Ω
3 min.	14.66 G Ω	21.82 G Ω
4 min.	24.61 G Ω	23.19 G Ω
5 min.	24.18 G Ω	22.43 G Ω
6 min.	25.82 G Ω	25.23 G Ω
7 min.	26.04 G Ω	24.41 G Ω
8 min.	26.25 G Ω	24.32 G Ω
9 min.	21.89 G Ω	27.04 G Ω
10 min.	28.17 G Ω	26.19 G Ω

Tabla 4.2 Resultados de la prueba de Resistencia de aislamiento

Los resultados respecto al TPI fueron satisfactorios, ya que al traerlo a la subestación se encontraba totalmente nuevo, por lo tanto tenía que pasar las pruebas satisfactoriamente. Los resultados mostrados en las tablas de las pruebas de factor de potencia y resistencia de aislamiento son los que están ahí y dado los resultados, se hizo el análisis para que posteriormente pasara a ser montado en la subestación como la fase A en el patio del almacén.

Se pudo dictaminar que las pruebas pasaron gracias a los formatos existentes que se mencionarán, en donde nos da condiciones que los resultados deben de cumplir, una de esas condiciones trata por ejemplo de: si el equipo es nuevo o se le hizo mantenimiento y luego se hizo la prueba, otra condición es por el clima ya que esta tiende a provocar cambios en el aislamiento.

Autotransformador			Aceite		
Factor de potencia	Excelente	$\leq 0,50\%$	Factor de potencia	Nuevo	0,05%
a 20 °C	Límite	$\leq 1,00\%$	a 20 °C	Bueno	0,50%

Figura 4.1 Condiciones para las pruebas al aceite aislante

Conclusión

En lo personal, durante todo el proyecto se abarcaron muchos temas de los cuales me parecieron muy interesantes, ya que abarca en el ámbito de la seguridad, tema el cual siempre fue de mayor relevancia. Cada personal que se encuentra en una subestación de potencia debe de estar consiente al lugar a donde está ingresando ya que, el peligro es inminente y siempre está, se sabe que se pueden reducir los riesgos al mínimo posible. El uso de equipo de seguridad es más que una obligación en la empresa y saber la importancia de cada una de ellas, así como en cada libranza o en cada emergencia, el personal está muy capacitado para poder sacar trabajos de urgencia de manera segura.

El aterrizar los equipos es de vital importancia y es lo primero que se hace en cada operación, el voltaje que se aplica es mayor a los 400 mil Volt y una descarga de tal magnitud se sabe que es mortal para cualquier personal.

Otra de las cosas relevantes fue el tener en cuenta la distancia entre un conductor y la línea de alto voltaje, ya que si se llega a romper la distancia de 4 metros provocaría un arco en la subestación de 400 KV y una distancia mayor a 1.5 metros en la subestación de 115 KV. La inducción que se encuentra en el campo es mucha y es por eso que en la empresa siempre recalca la importancia del uso del equipo de seguridad.

El mayor aislamiento que hay en los equipos eléctricos dentro de una subestación es el aceite, producto peligroso si no se usa con el debido cuidado; además de tener las respectivas precauciones para evitar consecuencias. Manejar aceite puede ser peligroso por ser un producto con muchos químicos, esto puede provocar altos peligros por explosiones o derrames dentro del mismo, derramar aceite significa contaminar y romper leyes.

En la empresa son conscientes de decir “somos humanos y todos cometemos errores” ya que a veces, el que suceda un accidente no quiere decir que fue por culpa de alguien, descuidos pequeños pueden significar pérdidas en la subestación y de que pasan detalles o descuidos pasan. Porque así como logran grandes trabajos con éxito, del mismo modo hay trabajos que no pueden concluir como lo planea, ya sea por causas menores o incidentes que afecten al personal.

Se manejan tantas leyes respecto a lo visto en clases de circuitos eléctricos o electromagnetismo, leyes que ocurren a diario en los transformadores, y que no se ven por simple lógica. Venir a una subestación tan grande como lo es La central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres ha sido de gran ayuda y de gran experiencia, en pocas palabras ayuda a vencer miedos y a ganar motivación de lo que uno puede llegar a lograr con mucha disciplina, estudio y sobre todo con las ganas de querer aprender.

Respecto al aprendizaje, podría decirse que tal vez no era lo que esperaba pero con lo que pude ver y observar me voy satisfecho, ya que son cosas laborales a gran escala en el que estoy consiente que suceden día con día, y que además no tenía la menor idea de cómo funcionaban.

Referencias bibliográficas

- [1] Subdirección de transmisión C.F.E. “Procedimiento para la medición de resistencia de aislamiento en equipo eléctrico primario” ST-CT-001. Dic 2007
- [2] Subdirección de transmisión C.F.E. “Procedimiento para la medición de Factor de potencia en aislamiento de equipo eléctrico” ST-CT-002. Dic 2007
- [3] Subdirección de transmisión C.F.E. “Procedimiento para la medición de relación de transformación” ST-CT-007. Dic 2007
- [4] Bronce Way, Dallas TX Fabricante de equipos de mediciones eléctricas “Megger” 4271
- [5] Artech, Transformadores de medida en alta tensión para subestaciones de potencia.
- [6] Subdirección de transmisión C.F.E. Capítulo 7.8 “Transformadores de instrumento”

Anexos

Anexo A: Equipo de medición para factor de potencia, TTR y resistencia de aislamiento.

- Factor de potencia marca DOBBLE tipo M2H-10 KV.
- Factor de potencia marca DOBBLE tipo M-4000.

El uso del equipo “DOBBLE” es el que se ha generalizado en Comisión Federal de Electricidad, dada su confiabilidad, precisión y versatilidad para este tipo de pruebas, está diseñado para usarse tanto en el campo como en pruebas de laboratorio; de los equipos mencionados todos son confiables, siendo el M2H y M-4000 los más recomendables para pruebas en subestaciones de potencia debido al eliminador de interferencia que tienen integrado y este último por la tecnología de punta con que está equipado.

Todos los equipos usados en la subestación están totalmente calibrados y estado óptimo para poder hacer mediciones. De lo contrario la medición queda pendiente hasta que haya equipo de medición.

El T.T.R. es un instrumento portátil que no requiere una instalación especial, simplemente colóquelo en una posición que le permita girar la manivela con comodidad. Abra la cubierta y si desea la puede quitar deslizando hacia la derecha.

Cuando el T.T.R. se use en un lugar donde haya posibilidad de tener voltajes inducidos, deberá aterrizar usando la terminal para conexión a tierra que tiene el aparato. Esta precaución no siempre es necesaria.

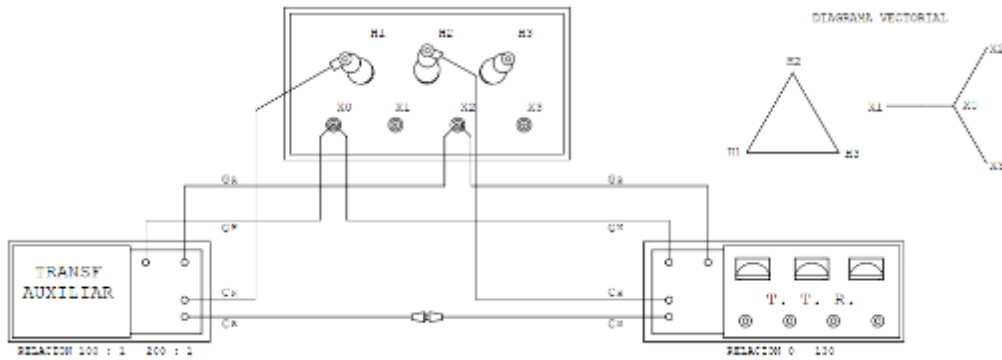


Figura 5 Esquema de medición en un medidor de relación de transformación (TTR)

Para la resistencia de aislamiento, se utiliza un megóhmetro instrumento estándar para la verificación de resistencia de aislamiento.

Existen instrumentos de accionamiento manual que son utilizados para efectuar pruebas de corta duración. Sin embargo, no es recomendable su empleo en mediciones de rutina de absorción dieléctrica, ya que es difícil mantener la velocidad adecuada durante los 10 minutos que dura la prueba.

También, es importante que el instrumento sea capaz de mantener el voltaje aplicado a su valor nominal, durante los diez minutos de medición, ya que la resistencia de aislamiento varía con el voltaje aplicado. Por esta razón, algunos de los aparatos pequeños no son aptos para efectuar mediciones en los transformadores de gran capacidad que toman una corriente de absorción considerable. Se recomienda utilizar el mismo instrumento para efectuar las mediciones periódicas en el equipo, ya que las diferencias en las características de salida pueden afectar las curvas de absorción dieléctrica, especialmente en los valores iniciales.

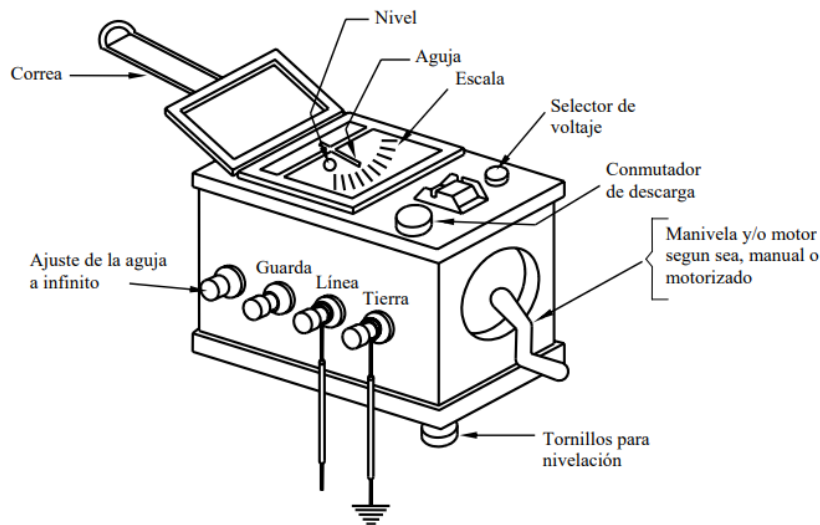


Figura 4.2 Diagrama elemental de un medidor de resistencia de aislamiento.

Anexo B: Reglamento para personal dentro de una subestación

Cabe recordar lo importante que es para el trabajador mismo y CFE, que todos y cada uno de los trabajadores que laboran en el mantenimiento de equipo eléctrico primario de Subestaciones, cumplan estrictamente con las normas de seguridad establecidas en el reglamento de seguridad e higiene (Capítulo 800) Transmisión.

- Equipos de protección personal

El uso de casco, guantes, gafas y botas es una obligación, en cualquier trabajo es primordial, en el caso de CFE es una obligación protegerte, cuidar tu salud y la de los compañeros de trabajo.

- Trabajos en alturas

Usar el arnés cuando la altura supera los dos metros, el uso incluso de la línea viva para mayor seguridad y el cuidado que el personal debe de tener cuando se ubica en alturas mayores. Trabajar en ambientes tranquilos y con orden ayuda a tener mayor estabilidad con el grupo de trabajo.

- Distancias de seguridad respecto a partes energizadas

Se mencionó anteriormente, y habla acerca de los límites de distancia que existe entre un conductor y la línea de alto voltaje. Dicha distancia, si llega a superarse ocurre un corto de una gran magnitud mortal. Todo personal debe de estar enterado de las distancias de seguridad y en qué áreas se permite trabajar con libertad.

- Equipos de puesta a tierra

Usar siempre equipos de puesta a tierra y aterrizarlos en zonas adecuadas permite que tanto como el personal y los equipos de medición se encuentren sin riesgos.

- Primeros auxilios y protección contra incendios

Tener el conocimiento de cómo evitar accidentes y sobre todo, como enfrentarlos si se llegaran a presentar. En la empresa hay talleres y cursos que enseñan sobre primeros auxilios y qué hacer en casos de incendios, de esta manera el personal debe de estar capacitado para saber qué hacer en casos como estos.